



無段変速同期電動機と巻線形誘導電動機の直列縦続 結合法について

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学 公開日: 2014-06-23 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 伊達, 隆三 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/3436

無段変速同期電動機と巻線形誘導電動機の 直列縦続結合法について

伊 達 隆 三

On the Series-Concatenated Connection between the Continuous Variable Speed Synchronous Motor and the Wound Rotor Type Induction Motor

Ryuzō Date

Abstract

The continuous variable speed synchronous motor is made so as to rotate its stator, and by regulating the stator speed the rotor rotates at synchronous speed with the stator, i. e. the motor speed is controlled. In this case the stator output is feedback to the rotating shaft or regenerated to the source through the auxiliary machines.

This paper is concerned with the speed, torque and output in the system which is the series-concatenated connection between the continuous variable speed synchronous motor and the wound rotor type induction motor. The present writer made the equivalent circuit in order to attempt the theoretical analysis of the system. He could indicate the share of the output of the rotor and the auxiliary machine system by the equivalent circuit, and consider the experimental result by use of the testing machine.

1. 緒 言

無段変速同期電動機は同期機においてその固定子を回転可能な構造とし、その速度を調整してこれと相対的に同期速度を保持する回転子の速度、即ち電動機の速度を制御するものであり、その際同時に固定子出力は補助機を通じて回転軸側に返還されるか、或いは電源に回生される方式のものである。それらの諸特性については既に発表を重ねており、補助機の組合せとして種々のものが考えられるが、本報告ではその補助機として同期発電機と巻線形誘導電動機とを直列縦続結合する運転方式において、その速度・トルク・出力等の関係を論じ、この系の理論的解析をすすめるために等価回路を作成した。これより回転子と補助系各部の出力分担を表示し得ることを示し、また試作機による実験結果より考察検討を行なったので、ここに発表する。

2. 系の構成と運転原理

無段変速同期機の系の直列縦続接続構成図を図-1に示し、またその実験装置を図-2に示

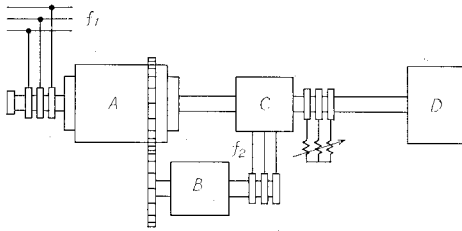


図-1 系の直列縦続接続構成図

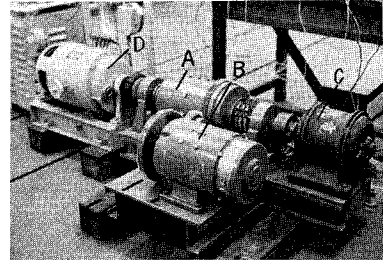


図-2 実験装置

す。図において A は主機の無段変速同期機、B は A の回転固定子に連動する補助同期発電機、C はこれと直列縦続された補助誘導電動機、D は負荷の動力計である。A の回転子を周波数 f_1 の電源に接続すれば、A はトルクを発生して回転固定子と相対的に同期速度で回転し、回転固定子の機械エネルギーはこれと機械的に結合された B によって、その回転速度に比例する周波数 f_2 の電気エネルギーに変換され、これと直列縦続された C を駆動してその合成出力は A の回転子出力と C の出力との和となり、補助系を調整することによって任意の速度で D を駆動することができる。

3. 速度・トルク・出力の関係

A を電源に接続すると固定子と回転子は互いに反対方向のトルクを発生して相対的に同期速度で回転する。その速度をそれぞれ n_{0s} , n_{0r} , n_0 とし、回転固定子の静止軸に対するすべりを s_1 とすると

$$n_{0s} = s_1 n_0 \quad (1)$$

$$n_{0r} = (1 - s_1) n_0 \quad (2)$$

固定子、回転子の発生トルクを τ_s , τ_r 、合成トルクを τ_t とし、B, C 補助系の帰還効率を η とすると

$$\begin{aligned} \tau_t &= \tau_r + \eta \tau_s \\ &= \left(1 + \frac{s_1 \eta}{1 - s_1} \right) \tau_r \end{aligned} \quad (3)$$

固定子、回転子の発生出力を P_s , P_r 、その和を P_0 、C の出力を P_m 、合成出力を P_t とすると

$$\begin{aligned} P_t &= P_r + P_m = P_r + \eta P_s \\ &= \left\{ (1 - s_1) + s_1 \eta \right\} P_0 \end{aligned} \quad (4)$$

等の関係が得られる。

次に電源周波数を f_1 、B の周波数を f_2 とし、A, B, C の極数をそれぞれ P_1 , P_2 , P_3 とすれば、A, B の連動速度比を k として

$$f_2 = ks_1 f_1 \frac{P_2}{P_1} \tag{5}$$

となり、C のすべりを s_2 とすると

$$s_2 = 1 - \frac{(1-s_1)P_3}{ks_1 P_2} \tag{6}$$

となる。従って(6)式において $k=1, P_2=P_3$ とすれば、 $s_1=0.5$ のとき $s_2=0$ となり、これは系が同期速度の 1/2 の速度で運転されるときは C のすべりは 0 でトルクは 0、従って出力も 0 となる点を表わし、また $s_1=1$ のとき $s_2=1$ となり、これは系の静止を表わすものである。

4. 系の等価回路

この系は A, B および A, C の機械接続と B, C の電気接続より構成されており、それ等相互間に成立する関係を使用して系の等価回路を作成することができる。

(4)式において

$$P_r = (1-s_1)P_0 \tag{7}$$

であり、ここで

$$P_0 = \frac{P_s}{s_1} \tag{8}$$

B の 1 相当りの発生電圧および電流を E_g ($s_1=1$ における値), I_1 とし、位相差を θ とすれば

$$P_s = 3s_1 E_g I_1 \cos \theta \tag{9}$$

B, C の合成インピーダンスおよびその抵抗成分を Z, R とすれば

$$\cos \theta = \frac{R}{Z} \tag{10}$$

これ等の関係を用いて

$$P_r = \frac{3(1-s_1)RI_1^2}{s_1} \tag{11}$$

また C の 2 次の抵抗 (1 次側換算値) および電流を R'_2, I_2 とすれば

$$P_m = \frac{3s_2(1-s_2)R'_2 I_2^2}{s_2} \tag{12}$$

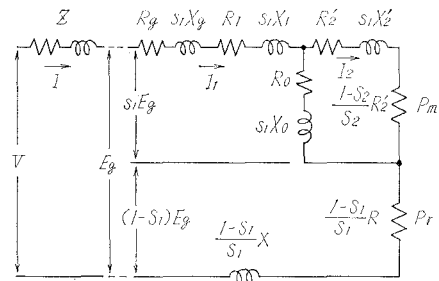


図-3 系の等価回路

従って以上の関係から系の各部分の記号を次の如く使用して 図-3 のような等価回路が作成できる。

(各記号は 1 相当りのもので、B, C については $s_1=1, s_2=1$ における値とする)

V, I, Z : A の電圧, 電流, インピーダンス E_g : B の発生電圧

R_g, X_g : B の抵抗, リアクタンス

I_1 : B の電流

R_1, X_1 : C の 1 次の抵抗, リアクタンス

R_0, X_0 : C の励磁回路の抵抗, リアクタンス

R_2', X_2' : C の 2 次の抵抗, リアクタンス

E_2 : C の 2 次の電圧

(1 次側換算値)

I_2 : C の 2 次の電流

R, X : B, C の合成インピーダンスの抵抗成分, リアクタンス成分

等価回路において E_g を分割して上半部に $s_1 E_g$ を加え, 下半部に $(1-s_1) E_g$ を加えたとき, 主機 A の回転子の出力 P_r は $(1-s_1) R/s_1$ 中に消費される電力に等しい機械的出力と等価であり, また補助系 B, C よりの出力 P_m は $(1-s_2) R_2'/s_2$ 中に消費される電力に等しい機械的出力と等価である。従って C の励磁回路を省略して $I_1=I_2$ とし, $\eta=1$ と考えるとき, P_r と P_m の出力分担比は (11), (12) 式より

$$\frac{P_m}{P_r} = \frac{s_1(1-s_2)R_2'}{s_2(1-s_1)R} \quad (13)$$

で表わされる。更に (6) 式において $P_2=P_3$, $k=1$ とすれば

$$s_2 = \frac{2s_1-1}{s_1} \quad (14)$$

となり, この場合の出力分担比は

$$\frac{P_m}{P_r} = \frac{R_2'}{\left(2 - \frac{1}{s_1}\right)R} \quad (15)$$

上式より $s_1 \rightarrow 0$ で $P_m/P_r \rightarrow 0$, $0 < s_1 < 0.5$ で $P_m/P_r < 0$, 即ち P_m は発電作用となり, $0.5 < s_1 < 1$ で $P_m/P_r > R_2'/R < 0$, 即ち P_m は電動作用となることを表わす。

5. 実験方法及び実験結果

実験は主機の無段変速同期電動機に補助機の同期発電機と巻線形誘導電動機を結合し, 負荷として直流動力計を使用した。これ等の機器の仕様を表-1 に示す。

A 入力電圧 V_1 を 110 V 一定に保ち, B の界磁電流 i_{gf} を 0.20 A, 0.25 A, 0.30 A, 0.35 A, 0.375 A としたとき, それぞれの場合における回転速度に対する系のトルク, 入力および出力を測定した。それ等の実験値を表-2, 表-3, 表-4, 表-5, 表-6 に示し, また実験曲線を 図-4, 図-5 に示す。

表-1 系の機種と仕様

主 機 A	補 助 機 B	補 助 機 C	負 荷 D
無段変速同期電動機 AC 100 V 0.7 kW 4 極 他励 100 V	同期発電機 AC 20/27 V 0.7/0.9 kW 4 極 他励 100 V	巻線形誘導電動機 AC 100 V 1.5 kW 4 極	直流動力計 100 V 2 kW 2 極 励磁 100 V

表-2 $i_{gf}=0.2A$ における実験値

主 電 動 機			補 助 発 電 機		動 力 計		合 成 系	
電機子電流	界磁電流	入 力	端子電圧	電 流	トルク	回 転 数	出 力	す べ り
I (A)	i_f (A)	W (W)	V_a (V)	I_a (A)	τ_t (kg-m)	n (rpm)	P_t (W)	s (%)
1.85	0.149	300	—	—	0.03	1460	45	2.7
2.15	0.160	450	—	1.00	0.10	1430	147	4.7
2.51	0.167	500	—	1.25	0.14	1400	201	6.7
2.80	0.180	560	5	1.60	0.16	1370	223	8.7
2.30	0.165	460	23	3.00	0.10	1200	123	20.0
2.20	0.150	440	—	—	0.02	1000	21	33.3
—	0.140	98	34	1.80	-0.16	770	-126	48.6
—	0.140	110	36.2	1.60	-0.14	762	-109	49.0
—	0.140	120	38	1.45	-0.12	762	-94	49.0
—	0.140	140	37	1.47	-0.10	760	-68	49.3
1.00	0.140	240	40	0.97	0	750	0	50.0
1.30	0.145	260	41.5	0.50	0.03	750	23	50.0
1.35	0.145	270	41	0.60	0.04	746	31	50.2
1.41	0.149	290	41	0.70	0.06	746	46	50.2
1.51	0.150	310	41	0.80	0.08	745	61	50.3
1.62	0.150	320	41	0.90	0.10	745	76	50.3
1.65	0.150	320	40.5	1.00	0.11	745	84	50.3
1.70	0.150	340	40.5	1.25	0.12	740	91	51.0
1.85	0.155	360	39.5	1.30	0.14	735	106	51.1
2.12	0.159	414	36.5	1.50	0.20	730	150	51.4
2.20	0.160	440	33	1.75	0.22	720	162	52.0
2.20	—	400	—	—	0.13	680	91	54.6
2.00	—	380	—	—	0.07	600	43	60.0
1.60	—	340	—	—	0.06	530	33	64.6

表-3 $i_{gf}=0.25A$ における実験値

主 電 動 機			補 助 発 電 機		動 力 計		合 成 系	
電機子電流	界磁電流	入 力	端子電圧	電 流	トルク	回 転 数	出 力	す べ り
I (A)	i_f (A)	W (W)	V_a (V)	I_a (A)	τ_t (kg-m)	n (rpm)	P_t (W)	s (%)
1.75	0.150	300	—	—	0.03	1472	45	1.9
2.20	0.160	440	—	0.30	0.10	1450	150	3.2
3.05	0.180	580	—	1.50	0.20	1410	289	6.2
3.45	0.190	670	5.0	1.80	0.24	1380	340	8.0
2.70	—	540	—	—	0.14	1200	173	20.0
—	—	—	—	—	0.04	1000	41	33.3
—	1.400	40	42.0	2.15	-0.24	770	-190	48.6
—	1.400	60	44.5	1.95	-0.22	763	-172	49.0
—	1.350	80	43.0	1.88	-0.20	762	-156	49.0
—	1.390	110	46.0	1.65	-0.15	760	-101	49.3
1.60	1.400	144	47.1	1.46	-0.10	760	-68	49.3

主電動機			補助発電機		動力計		合成系	
電機子電流	界磁電流	入力	端子電圧	電流	トルク	回転数	出力	すべり
I (A)	i_f (A)	W (W)	V_a (V)	I_a (A)	τ_t (kg-m)	n (rpm)	P_t (W)	s (%)
1.40	1.670	252	49.0	1.20	0	750	0	50.0
1.30	0.150	262	51.2	1.20	0.04	750	26	50.0
1.61	0.151	324	51.0	1.30	0.10	746	77	50.3
1.90	0.155	372	50.0	1.40	0.16	742	122	50.5
2.11	0.159	410	48.8	1.50	0.20	740	150	50.7
2.40	0.165	470	47.0	1.60	0.26	734	196	50.9
2.60	0.170	500	45.2	1.90	0.30	730	234	51.4
2.65	0.170	516	44.2	1.90	0.32	730	239	51.4
2.85	0.172	540	43.0	2.00	0.34	720	253	51.6
2.20	0.170	440	23.0	3.00	0.18	650	120	56.6
2.10	0.160	420	—	—	0.13	550	73	63.3
—	—	—	—	—	0.11	460	52	69.4

表-4 $i_{gf}=0.3A$ における実験値

主電動機			補助発電機		動力計		合成系	
電機子電流	界磁電流	入力	端子電圧	電流	トルク	回転数	出力	すべり
I (A)	i_f (A)	W (W)	V_a (V)	I_a (A)	τ_t (kg-m)	n (rpm)	P_t (W)	s (%)
1.55	0.145	340	—	—	0.03	1475	46	1.7
2.15	0.160	420	—	0.68	0.10	1460	120	2.7
2.90	0.175	570	—	1.17	0.20	1420	293	5.3
3.73	0.200	720	—	1.76	0.30	1410	434	6.0
4.65	0.235	910	9.0	2.90	0.40	1330	546	10.0
—	—	520	—	—	0.22	1180	266	21.3
—	—	480	—	—	0.13	1070	143	28.6
—	—	440	—	—	0.06	990	61	34.0
—	—	-80	46.5	2.78	-0.35	780	-281	48.0
—	—	-40	54.0	2.40	-0.30	770	-237	48.6
—	—	20	58.0	2.05	-0.20	770	-158	48.6
—	—	90	60.0	1.80	-0.10	760	-78	49.4
1.37	0.150	270	60.7	1.50	0.03	750	23	50.0
1.68	0.156	334	60.5	1.51	0.10	750	77	50.0
2.05	0.158	410	60.0	1.60	0.20	742	150	50.5
2.50	0.165	484	58.0	1.76	0.30	740	227	50.6
3.00	0.175	584	55.2	2.05	0.40	730	299	51.4
3.60	0.200	700	49.0	2.60	0.50	720	369	52.0
2.70	—	540	—	—	0.31	620	197	58.6
2.60	—	520	—	—	0.21	590	127	60.6
2.70	—	480	—	—	0.18	500	92	66.6

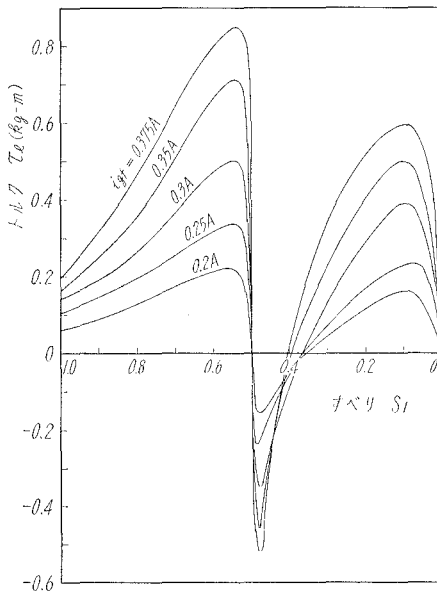
表-5 $i_{gf}=0.35$ A における実験値

主 電 動 機			補 助 発 電 機		動 力 計		合 成 系	
電機子電流	界磁電流	入 力	端子電圧	電 流	トルク	回 転 数	出 力	す べ り
I (A)	i_f (A)	W (W)	V_a (V)	I_a (A)	τ_L (kg-m)	n (rpm)	P_L (W)	s (%)
1.70	0.157	340	—	—	0.03	1480	45	1.3
2.50	0.170	470	—	0.65	0.10	1464	150	2.4
3.50	0.185	590	—	1.85	0.20	1450	297	3.3
3.95	0.215	762	—	1.61	0.30	1426	439	4.9
4.71	0.240	916	6.0	2.13	0.40	1400	575	6.7
5.42	0.267	1050	8.3	2.70	0.47	1367	660	8.9
5.80	0.275	1114	10.0	3.21	0.50	1340	688	10.7
3.00	—	600	—	—	0.35	1240	444	17.3
—	—	—	—	—	0.08	950	78	36.6
—	—	-140	56.0	3.05	-0.46	775	-565	48.4
—	—	-100	61.0	2.70	-0.40	770	-317	48.6
—	—	-40	65.0	2.35	-0.30	770	-237	48.6
—	—	30	67.0	2.15	-0.20	760	-156	49.4
—	1.400	100	68.0	1.95	-0.10	760	-78	49.4
1.45	0.150	298	66.5	1.66	0.03	750	23	50.0
1.75	0.153	380	66.5	1.67	0.10	750	77	50.0
2.12	0.161	420	66.7	1.74	0.20	747	155	50.2
2.57	0.170	500	65.8	1.88	0.30	740	227	50.7
3.15	0.185	600	68.5	2.08	0.40	740	304	50.7
3.70	0.204	710	66.7	2.35	0.52	736	378	50.9
4.15	0.220	802	64.0	2.60	0.60	730	450	51.4
4.85	0.247	950	60.0	3.10	0.70	725	520	51.6
5.10	0.259	996	58.7	3.31	0.72	720	532	52.0
—	—	—	—	—	0.33	560	190	62.6
—	—	—	—	—	0.27	460	128	69.4

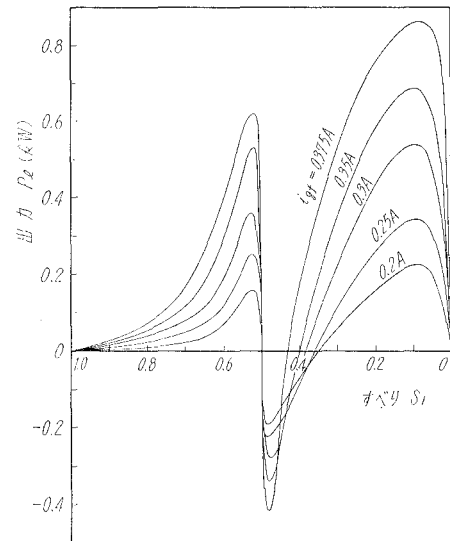
表-6 $i_{gf}=0.375$ A における実験値

主 電 動 機			補 助 発 電 機		動 力 計		合 成 計	
電機子電流	界磁電流	入 力	端子電圧	電 流	トルク	回 転 数	出 力	す べ り
I (A)	i_f (A)	W (W)	V_a (V)	I_a (A)	τ_L (kg-m)	n (rpm)	P_L (W)	s (%)
1.57	0.147	320	—	—	0.03	1485	46	1.0
2.15	0.160	430	—	0.60	0.10	1476	150	1.6
3.00	0.180	580	—	1.00	0.20	1458	299	2.8
3.81	0.206	742	—	1.33	0.30	1444	445	3.5
4.65	0.235	900	—	1.85	0.40	1425	585	5.0
5.75	0.275	1100	6.0	2.35	0.50	1408	720	6.1
6.75	0.295	1290	8.0	2.95	0.60	1405	865	6.3
—	0.140	-170	50.5	3.55	-0.52	780	-417	48.0
—	0.140	-140	54.5	3.20	-0.50	780	-400	48.0
—	0.140	-100	62.5	2.70	-0.40	770	-317	48.6

主 電 動 機			補助発電機		動 力 計		合 成 系	
電機子電流	界磁電流	入 力	端子電圧	電 流	トルク	回 転 数	出 力	す べ り
I (A)	i_f (A)	W (W)	V_a (V)	I_a (A)	τ_z (kg-m)	n (rpm)	P_L (W)	s (%)
—	0.140	-40	66.0	2.35	-0.30	770	-237	48.6
—	0.135	40	68.0	2.20	-0.20	765	-157	49.0
—	0.135	100	70.0	2.00	-0.11	760	-86	49.3
—	0.142	224	60.0	1.50	0	750	0	50.0
1.57	0.150	306	79.2	2.05	0.03	750	23	50.0
1.90	0.151	370	79.2	2.05	0.10	750	77	50.0
2.30	0.160	448	78.5	2.05	0.20	745	150	50.2
2.79	0.172	540	77.4	1.70	0.30	745	239	50.2
3.18	0.182	616	76.3	2.22	0.40	742	304	50.5
3.70	0.200	712	74.0	2.38	0.50	740	379	50.7
4.25	0.220	820	74.0	2.60	0.60	735	452	51.0
4.75	0.240	928	71.2	2.87	0.70	730	524	51.3
5.45	0.261	1050	66.7	3.25	0.80	725	595	51.6
5.85	0.285	1124	59.6	3.73	0.85	715	623	52.3



図—4 速度—トルク特性



図—5 速度—出力特性

6. 考 察

系のトルク，出力共に $s_1=0.5$ において 0 となり，またこの近傍で負の値となる。これは補助機の極数と連動速度比に関係して生ずるもので，本実験装置は表-1 より $P_2=P_3=4$ ， $k=1$ であるから (14) 式より $s_1=0.5$ において $s_2=0$ となり，図-3 の等価回路において C の 2 次回路は開路されて出力は 0，従って C を回転するに必要な電力が A に流入するのみで，その回転

子出力も 0 となる。また $0 < s_1 < 0.5$ の領域では (15) 式より $P_m/P_r < 0$ 、即ち C は発電作用をしてその発生電力は B に流入して電動作用となり、A を駆動して発電機となるため、この近傍で負の値をとる。

次に B の励磁電流 i_{gf} の増加に伴って出力は増加するが、出力の最大となる点は $s_1=0.1$ の近傍に生じている。任意の速度においてもこの最大出力となるように運転する一方法として、出力が 0 となる点を $s_1=1$ に近い方へ移動すればよい。そのためには (6) 式において $s_2=0$ とおけば

$$s_1 = \frac{1}{1+kP_2/P_3}$$

となり、A、B の連動速度比 k 或は B、C の極数比 P_2/P_3 を小さくすることにより、また B の励磁電流と C の 2 次側抵抗調整を併用することにより、その目的を達せられるものと考えられる。

7. 結 言

無段変速同期電動機に補助機として同期発電機と巻線形誘導電動機を組合せ、これ等を直列縦続結合する運転方式において、各部の関係より等価回路を作成し、また実験結果より考察検討を行なったが、次のように要約することができる。

- a. 速度に対するトルクおよび出力特性は中間部に凹部を生じ、その位置は補助機の極数比 P_2/P_3 および主機と補助機の連動速度比 k によって決定する。
- b. 主機回転子出力 P_r と補助系出力 P_m は、等価回路において下半部に加えられる電圧 $(1-s_1)E_g$ により $(1-s_1)R/s_1$ 中に消費される電力と、上半部に加えられる s_1E_g により $(1-s_2) \times R_2/s_2$ 中に消費される電力とに等価である。
- c. 任意の速度において最大出力となるように運転するには、 k 或いは P_2/P_3 を小さくし、また B の励磁電流と C の 2 次側抵抗調整を併用することが考慮される。

終りに本研究をすすめるに当たり、終始御指導をいただいた本学電気工学科図所忠則教授に深く感謝の意を表します。

(昭和 43 年 4 月 30 日受理)

文 献

- 1) 図所忠則・伊達隆三・近藤 修・藤田義弘：無段変速同期電動機の諸特性と速度調整機構に関する研究報告。昭和 41 年度電気四学会北海道支部連合大会講演論文集。
- 2) 図所忠則・近藤 修・伊達隆三・藤田義弘：無段変速同期電動機の合理的な速度制御について。昭和 41 年度電気四学会北海道支部連合大会講演論文集。
- 3) 伊達隆三・近藤 修・藤田義弘・図所忠則：無段変速同期機の等価回路について。昭和 42 年度電気四学会北海道支部連合大会講演論文集。

- 4) 図所忠則・近藤 修・伊達隆三：同期電動機の新速度制御方式理論と実験．電気学会雑誌，**87**(4)，150 (昭和42年)．
- 5) 伊達隆三・近藤 修・藤田義弘・図所忠則：固定子回転型同期電動機と巻線型誘導電動機の並列縦統結合法について．室蘭工業大学研究報告，**6**(1)，273 (昭和42年)．
- 6) 電気学会：誘導機，99 (昭和37年)．